

**ANALISIS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT UNTUK PENENTUAN
BREAKING CAPACITY CIRCUIT BREAKER PADA SISTEM DISTRIBUSI
PLTD DI PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
MINYAK DAN GAS BUMI CEPU**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

APRIL TRIYANTO

D400170095

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2021**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT UNTUK PENENTUAN
BREAKING CAPACITY CIRCUIT BREAKER PADA SISTEM DISTRIBUSI
PLTD DI PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
MINYAK DAN GAS BUMI CEPU**

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh:



APRIL TRIYANTO

D400170095

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh :

Dosen Pembimbing



Agus Ulinuha, S.T., M.T., Ph.D.

NIK. 656




HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT UNTUK PENENTUAN
BREAKING CAPACITY CIRCUIT BREAKER PADA SISTEM DISTRIBUSI
PLTD DI PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
MINYAK DAN GAS BUMI CEPU**

OLEH
APRIL TRIYANTO
D400170095

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari jum'at, 30 Juli 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji :

- | | |
|---|--|
| 1. Agus Ulinuha, S.T., M.T., Ph.D.
(Ketua Dewan Penguji) | () |
| 2. Hasyim Asy'ari, S.T., M.T
(Anggota I Dewan Penguji) | () |
| 3. Tindyo Prasetyo, S.T., M.T
(Anggota II Dewan Penguji) | () |

Dekan,



Rois Fatoni, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIK. 628

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 30 Juli 2021

Penulis



APRIL TRIYANTO

D400170095

ANALISIS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT UNTUK PENENTUAN BREAKING CAPACITY CIRCUIT BREAKER PADA SISTEM DISTRIBUSI PLTD DI PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA MINYAK DAN GAS BUMI CEPU

Abstrak

Sistem proteksi dalam sebuah sistem tenaga listrik sangatlah penting sebagai pengaman ketika terjadi gangguan listrik. Sistem proteksi yang paling umum ada pada jaringan listrik adalah CB (Circuit Breaker). Circuit Breaker merupakan peralatan proteksi rangkaian listrik yang digunakan untuk memisah secara otomatis bagian yang mengalami gangguan, misalnya gangguan hubung singkat, arus beban lebih, dan tegangan lebih. Penentuan nilai kapasitas CB didasarkan atas kapasitas pemutusan atau breaking capacity yaitu batas kemampuan kerja atau daya tahan CB ketika dilewati arus hubung singkat. Dalam penentuan breaking capacity digunakan metode analisis gangguan hubung singkat untuk mengetahui nilai arus gangguan hubung singkat yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Analisis gangguan hubung singkat ini dilakukan menggunakan simulasi dengan piranti lunak ETAP 12.6.0 dan perhitungan manual sebagai perbandingan. Perhitungan manual ini menggunakan nilai impedansi urutan dari komponen sistem jaringan dan beban. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh beberapa nilai arus gangguan hubung singkat 3-Phase Fault, L-G Fault, L-L Fault, dan L-L-G Fault yang berbeda pada setiap bus yang dipengaruhi oleh komponen sistem jaringan dan jumlah beban yang beroperasi. Nilai arus hubung singkat terbesar dari hasil analisis, kemudian digunakan untuk menentukan nilai optimum breaking capacity pada CB bus beban.

Kata Kunci: Breaking Capacity, Circuit Breaker, ETAP 12.6.0, Hubung singkat

Abstract

The protection system in an electric power system is very important as a safety when an electrical disturbance occurs. The most common protection system in the electrical network is the CB (Circuit Breaker). Circuit Breaker is an electrical circuit protection device that is used to automatically separate faulty parts, such as short circuits, overload currents, and overvoltages. The determination of the CB capacity value is based on the breaking capacity, which is the limit of the workability or endurance of the CB when a short-circuit current is passed. In determining the breaking capacity, the short circuit fault analysis method is used to determine the value of the short circuit fault current that occurs in the electric power system. This short circuit analysis was performed using a simulation using ETAP 12.6.0 software and manual calculations for comparison. This manual calculation uses the sequence impedance values of the network system components and loads. Based on the results of the analysis, obtained several values of short-circuit fault currents 3-Phase Fault, L-G Fault, L-L Fault, and L-L-G Fault which are different on each bus which are influenced by network system components and the number of operating loads. The value of the largest short circuit current from the analysis results, then used to determine the optimum value of breaking capacity on the CB bus load.

Keywords: Breaking Capacity, Circuit Breaker, ETAP 12.6.0, Short circuit

1. PENDAHULUAN

Keandalan dan kemampuan sistem tenaga listrik untuk melayani setiap konsumen sangat tergantung pada sistem proteksi yang digunakan. Sistem proteksi yang biasa terdapat pada sistem tenaga listrik antara lain Rele dan CB (*Circuit Breaker*). *Circuit Breaker* merupakan peralatan proteksi rangkaian

listrik yang digunakan untuk memutus secara otomatis jika terjadi gangguan hubung singkat, arus beban lebih, dan tegangan lebih. Penentuan nilai kapasitas CB ditentukan dari kapasitas pemutusan atau *Breaking Capacity* yaitu batas kemampuan kerja atau daya tahan CB ketika dilewati arus gangguan hubung singkat. Sistem proteksi tenaga listrik biasa dipasang pada peralatan seperti generator, transformator, dan jaringan listrik untuk melindungi peralatan terhadap kondisi abnormal operasi sistem tenaga listrik. Kondisi abnormal dapat berupa gangguan hubung singkat, tegangan lebih atau kurang, beban lebih, dan naik-turunnya frekuensi pada sistem tenaga listrik.

Perancangan sistem proteksi tenaga listrik harus dipertimbangkan kondisi gangguan yang mungkin terjadi pada sistem melalui studi analisis gangguan. Analisis gangguan hubung singkat adalah analisis yang mempelajari tentang arus gangguan hubung singkat yang mengalir pada setiap cabang di dalam sistem ketika gangguan tersebut terjadi. Penyebab umum terjadinya gangguan hubung singkat antara lain suhu berlebih karena arus beban lebih, kegagalan isolasi, dan wiring peralatan yang buruk. Berdasarkan kesimetrisannya, gangguan terdiri dari gangguan simetris dan asimetris. Gangguan simetris adalah gangguan yang terjadi pada semua fasanya sehingga arus dan tegangan pada masing-masing fasa bernilai sama, yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa seimbang. Sedangkan gangguan asimetris adalah gangguan yang mengakibatkan arus yang mengalir pada setiap fasa tidak seimbang, yaitu gangguan hubung singkat fasa ke fasa, satu fasa ke tanah, dan dua fasa ke tanah. Gangguan yang paling sering terjadi adalah gangguan asimetris yang menyebabkan mengalirnya arus tak seimbang dalam sistem sehingga digunakan metode komponen simetris untuk menentukan arus gangguan hubung singkat di semua sistem setelah terjadi gangguan.

Circuit Breaker (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan saklar (*switching*) mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal atau gangguan seperti kondisi hubung singkat (*short circuit*). Penentuan kapasitas CB (*Circuit Breaker*) dapat ditentukan berdasarkan nilai maksimum dari arus hubung singkat (Filia Majesty Posundu,dkk, 2013). Gangguan hubung singkat dalam sistem tenaga listrik dapat menimbulkan masalah seperti rusaknya peralatan listrik dan timbulnya pemadaman listrik. Penentuan nilai arus gangguan hubung singkat menggunakan simulasi dengan ETAP (*Electrical Transient Analysis Program*) 12.6.0 dan perhitungan manual. Arus gangguan hubung singkat terbesar yang sudah diketahui dengan bantuan software ETAP 12.6.0 akan dibandingkan dengan perhitungan secara manual berdasarkan nilai impedansi urutan positif, negatif dan nol dari titik lokasi gangguan (Agusthinus S. Sampeallo,dkk, 2019).

Analisis gangguan hubung singkat pada sistem distribusi digunakan untuk perancangan sistem proteksi kelistrikan yang akan mampu mendeteksi arus gangguan abnormal yang mungkin terjadi.

Hasil dari analisis gangguan hubung singkat kemudian digunakan untuk menentukan kapasitas peralatan sistem proteksi yang berfungsi mengisolasi bagian yang rusak dari sistem dalam waktu sesingkat mungkin sesuai dengan kebutuhan besarnya tingkat arus gangguan hubung singkat (Dr. Aung Zaw Latt, 2019). Analisis gangguan hubung singkat memberikan informasi yang diperlukan untuk menentukan apakah kapasitas interupsi komponen sistem daya cukup memadai untuk melindungi sistem daya listrik. Data ini digunakan untuk mengevaluasi ukuran yang tepat dari rele pelindung dan peralatan penginderaan (Bhagyashri Patil, 2018).

2. METODE

2.1 Tahap Penelitian

2.1.1 Studi Lapangan

Penulis memperoleh data langsung dari unit *Power Plant* PPSDM MIGAS Cepu yang akan digunakan untuk melakukan penelitian tugas akhir.

2.1.2 Studi Literatur

Penulis mencari beberapa sumber informasi dari jurnal dan karya ilmiah sebagai acuan dalam penelitian tugas akhir yang akan dilakukan.

2.1.3 Pengumpulan Data

Penulis melakukan pengumpulan data dari objek yang sudah ditentukan seperti generator, transformator, dan beban dalam bentuk data name plate dan pendataan langsung di unit *Power Plant* PPSDM MIGAS Cepu.

2.1.4 Analisis

Penulis melakukan analisis dari data yang sudah terkumpul dengan metode simulasi dan perhitungan manual untuk verifikasi nilai perbandingan hasil akhir.

2.2 Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini penulis melakukan analisis gangguan hubung singkat dengan simulasi menggunakan piranti lunak ETAP (*Electrical Transient Analysis Program*) 12.6.0 dan perhitungan manual sebagai perbandingan dari hasil simulasi. Penelitian ini menggunakan data yang diambil dari sistem jaringan distribusi dan pembebanan PLTD di PPSDM MIGAS Cepu.

2.2.1 Simulasi ETAP 12.6.0

Simulasi yang dilakukan dengan ETAP 12.6.0 menggunakan standar IEC dengan frekuensi yang digunakan adalah 50 Hz. Pada ETAP 12.6.0 terdapat bagian *study case Short-Circuit Analysis* yang digunakan untuk mempelajari analisis hubung singkat. Analisis hubung singkat ini dilakukan dengan memberi gangguan pada setiap bus untuk mengetahui nilai arus hubung singkatnya. Setelah nilai arus

hubung singkat muncul, kemudian dilakukan perhitungan manual untuk mengetahui perbandingan nilainya apakah sama atau berbeda.

2.2.2 Perhitungan

Perhitungan manual dilakukan menggunakan data dari komponen dan beban yang terpasang pada sistem jaringan distribusi. Data yang digunakan untuk perhitungan berupa nilai tegangan, daya, *power factor* dan impedansi dari *name plate* komponen dan beban. Berikut langkah-langkah yang digunakan untuk perhitungan nilai arus hubung singkat.

a. Menentukan Impedansi Sumber

Menurut Kersting (2002 : 291), dengan menggunakan MVA hubung singkat 3 fasa, impedansi ekivalen sistem urutan positif dalam ohm dapat ditentukan sebagai berikut :

$$Z_P = j \frac{KV_p^2}{MVA_{sc}} \dots\dots\dots (1)$$

Untuk memperoleh nilai MVA_{sc} sumber, perlu dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$FLA = \frac{S}{\sqrt{3} \times kV} \dots\dots\dots (2)$$

$$I_{sc} = \frac{100 \%}{Z \%} \times FLA \dots\dots\dots (3)$$

$$MVA_{sc} = \sqrt{3} \times I_{sc} \times kV \dots\dots\dots (4)$$

Setelah diperoleh nilai Z_P , selanjutnya dikonversikan ke sisi sekunder Z_S sebagai berikut :

$$Z_S = j \frac{KV_s^2}{KV_p^2} \times Z_{SP} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana :

Z_P = Impedansi sumber sisi primer transformator (Ohm)

Z_T = Impedansi sumber sisi sekunder transformator (Ohm)

FLA = Arus beban penuh transformator (KVA)

I_{sc} = Arus hubung singkat transformator (kA)

MVA_{sc} = Daya hubung singkat transformator (MVA)

S = Daya transformator (KVA)

KV_p = Tegangan sisi primer transformator (kV)

KV_s = Tegangan sisi sekunder transformator (kV)

b. Menentukan Impedansi Tranformator

Perhitungan impedansi transformator yang diambil nilai reaktansinya sedangkan nilai resistansi diabaikan karena nilainya kecil. Berikut persamaan untuk mencari nilai impedansinya. Rumus perhitungannya :

$$Z_T \text{ (pada 100 \%)} = j \frac{KV_s^2}{MVA} \dots\dots\dots (6)$$

Menghitung impedansi urutan positif dan urutan negatif :

$$Z_{T1} = Z_{T2} = Z \% (name\ plate) \times Z_T \dots\dots\dots (7)$$

Untuk transformer dengan belitan $\Delta - Y$, maka impedansi urutan nol adalah :

$$Z_{T0} = Z_{T1}$$

Dimana :

Z_T = Impedansi penuh transformator (Ohm)

Z = Impedansi pada *name plate* transformator (%)

Z_{T1} = Impedansi transformator urutan positif (Ohm)

Z_{T2} = Impedansi transformator urutan negatif (Ohm)

Z_{T0} = Impedansi transformator urutan nol (Ohm)

c. Menentukan Impedansi Penyulang

Perhitungan impedansi saluran perlu diketahui terlebih dahulu jenis penghantar, panjang penghantar, dan luas penampang yang digunakan. Rumus perhitungannya :

Impedansi penyulang urutan positif dan negatif :

$$Z_{P1} = Z_{P2} = (R + jX) \times P \dots\dots\dots (8)$$

Untuk impedansi urutan nol nya :

$$Z_{P0} = (R + jX) \times P$$

Dimana :

Z_{P1} = Impedansi penyulang urutan positif (Ohm)

Z_{P2} = Impedansi penyulang urutan negatif (Ohm)

Z_{P0} = Impedansi penyulang urutan nol (Ohm)

$R + jX$ = Nilai resistansi dan reaktansi penghantar (Ohm)

P = Panjang saluran (km)

d. Menentukan Impedansi Ekuivalen

Impedansi ekuivalen dapat langsung dihitung dengan menjumlahkan impedansi sumber, impedansi transformator, dan impedansi penyulang jika sumber ke titik gangguan terhubung seri.

Rumus perhitungannya :

Impedansi ekuivalen urutan positif dan negatif :

$$Z_1 = Z_2 = (Z_S + Z_{T1} + Z_{P1}) \dots\dots\dots (9)$$

Untuk impedansi ekuivalen urutan nol nya :

$$Z_0 = (Z_{T0} + 3.RN + Z_{P0}) \dots\dots\dots (10)$$

dengan,

$$RN = \frac{V_{L-N}}{FLA_{Transformer}} \dots\dots\dots (11)$$

Dimana :

Z_1 = Impedansi ekuivalen urutan positif (Ohm)

Z_2 = Impedansi ekuivalen urutan negatif (Ohm)

Z_0 = Impedansi ekuivalen urutan nol (Ohm)

RN = Tahanan netral transformator (Ohm)

e. Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat

Arus gangguan hubung singkat yang dihitung yaitu *3-Phase Fault*, *L-G Fault*, *L-L Fault*, dan *L-L-G Fault* dengan metode komponen simetris impedansi urutan positif, negatif, dan nol. Rumus perhitungannya :

1. *3-Phase Fault*

$$I_f = \frac{V_{L-N}}{Z_1} \dots\dots\dots (12)$$

2. *L-G Fault*

$$I_f = \frac{3 \cdot V_{L-N}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \dots\dots\dots (13)$$

3. *L-L Fault*

$$I_f = \frac{\sqrt{3} \cdot V_{L-N}}{Z_1 + Z_2} \dots\dots\dots (14)$$

4. *L-L-G Fault*

$$I_f = \frac{\sqrt{3} \cdot V_{L-N}}{Z_1 + (Z_2 // Z_0)} \dots\dots\dots (15)$$

Dimana :

I_f = Arus gangguan hubung singkat (A)

V_f = Tegangan di titik gangguan (V)

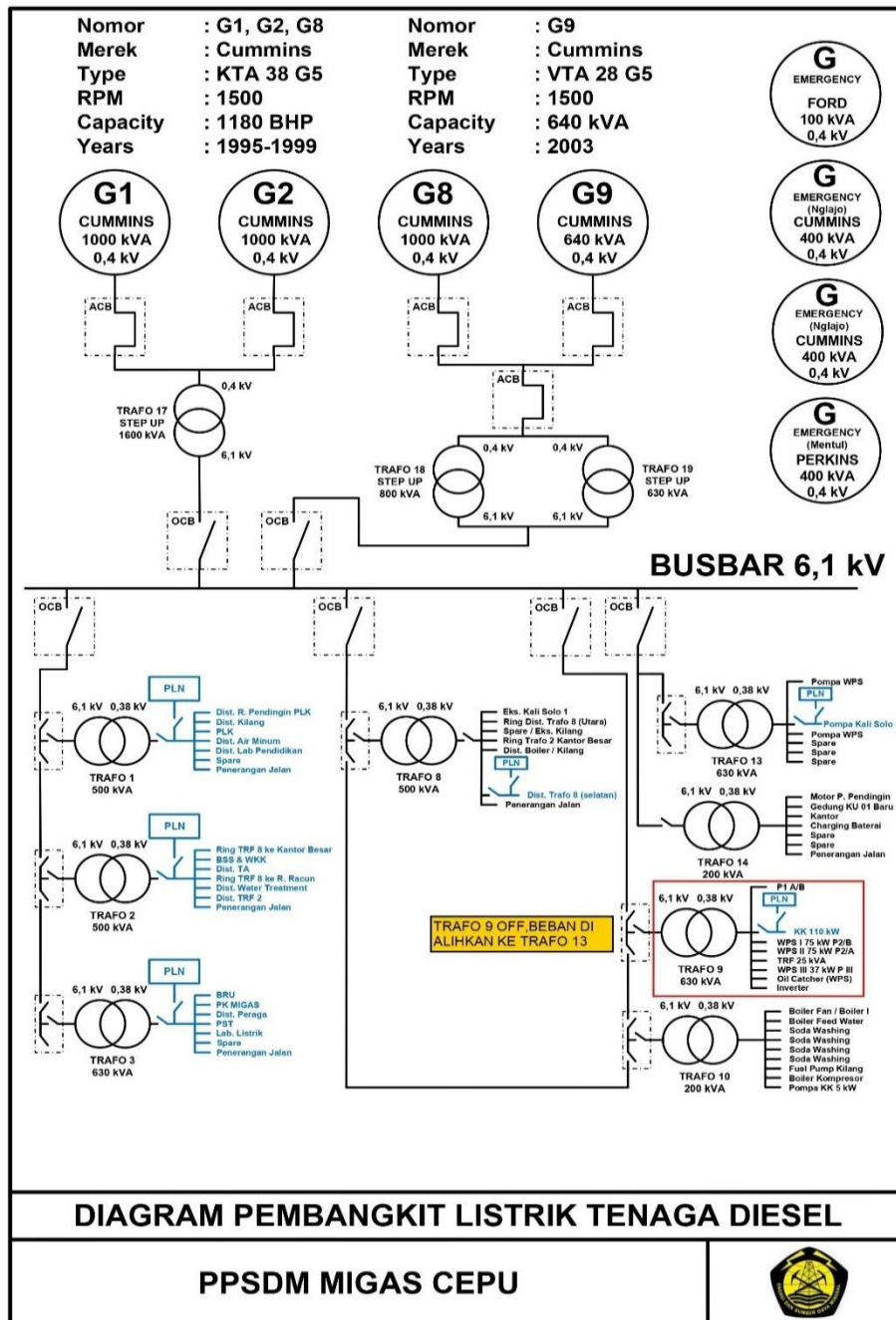
Z_1 = Impedansi ekuivalen urutan positif (Ohm)

Z_2 = Impedansi ekuivalen urutan negatif (Ohm)

Z_0 = Impedansi ekuivalen urutan nol (Ohm)

2.2.3 Sistem Jaringan Distribusi dan Pembebanan PLTD

Sistem jaringan distribusi tenaga listrik PLTD di PPSDM MIGAS Cepu bertipe jaringan distribusi radial, dimana hanya terdapat satu sumber tenaga listrik saja. Pada sistem jaringan terdapat 4 generator, 3 transformator pembangkit, dan 5 transformator distribusi yang beroperasi. Generator menyuplai sumber tenaga listrik sebesar 1000 - 1430 kVA dengan sistem tegangan menengah 6 - 6,3 kV dan tegangan rendah 0,38 - 04 kV menuju beban. Total beban terpasang pada sistem jaringan distribusi sebesar 1388,5 kW dengan beban operasi puncak rata-rata sebesar 514,7 kW. Berikut gambar diagram *single line* dan beban pada PLTD di PPSDM MIGAS Cepu.



Gambar 1. Diagram Pembangkit Listrik Tenaga Listrik di PPSDM MIGAS Cepu

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel di PPSDM MIGAS Cepu tersebut sudah mengalami beberapa kali perbaikan dari waktu ke waktu dengan menyesuaikan kondisi operasi yang ada di lapangan.

Tabel 1. Data beban terpasang

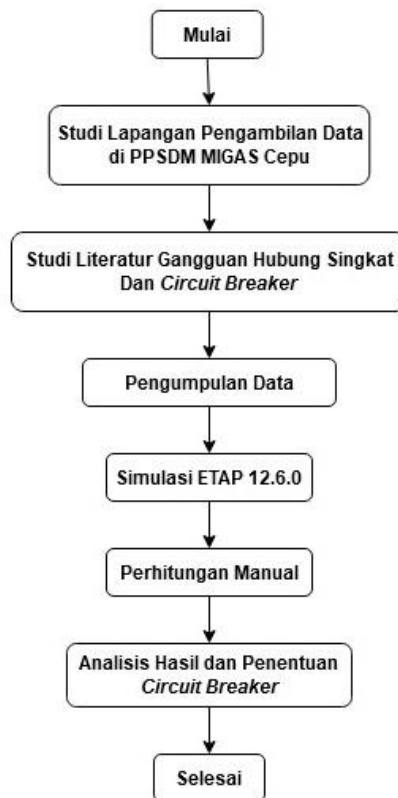
Unit Beban	Beban Terpasang (kW)
Unit <i>Power Plant</i>	67,05
Unit <i>Water Treatment</i>	290
Unit <i>Boiler</i>	191,05
Unit <i>Water Plant Service</i>	225
Unit Kilang	615,4
Total Beban	1388,5

Tabel 2. Data beban operasi

Unit Beban	Beban Operasi (kW)
Unit <i>Power Plant</i>	36,15
Unit <i>Water Treatment</i>	145
Unit <i>Boiler</i>	114,35
Unit Kilang	219,2
Total Beban	514,7

Data beban terpasang tersebut diambil berdasarkan beban yang terdapat pada semua bagian unit dan tidak semua beban beroperasi secara bersamaan. Beban yang terpasang memiliki 4 kondisi operasi, yaitu *continous*, *intermittent*, *standby*, dan *spare* sehingga tidak terjadi kelebihan beban yang melebihi kapasitas sumber tenaga listrik.

2.3 Flowchart Penelitian

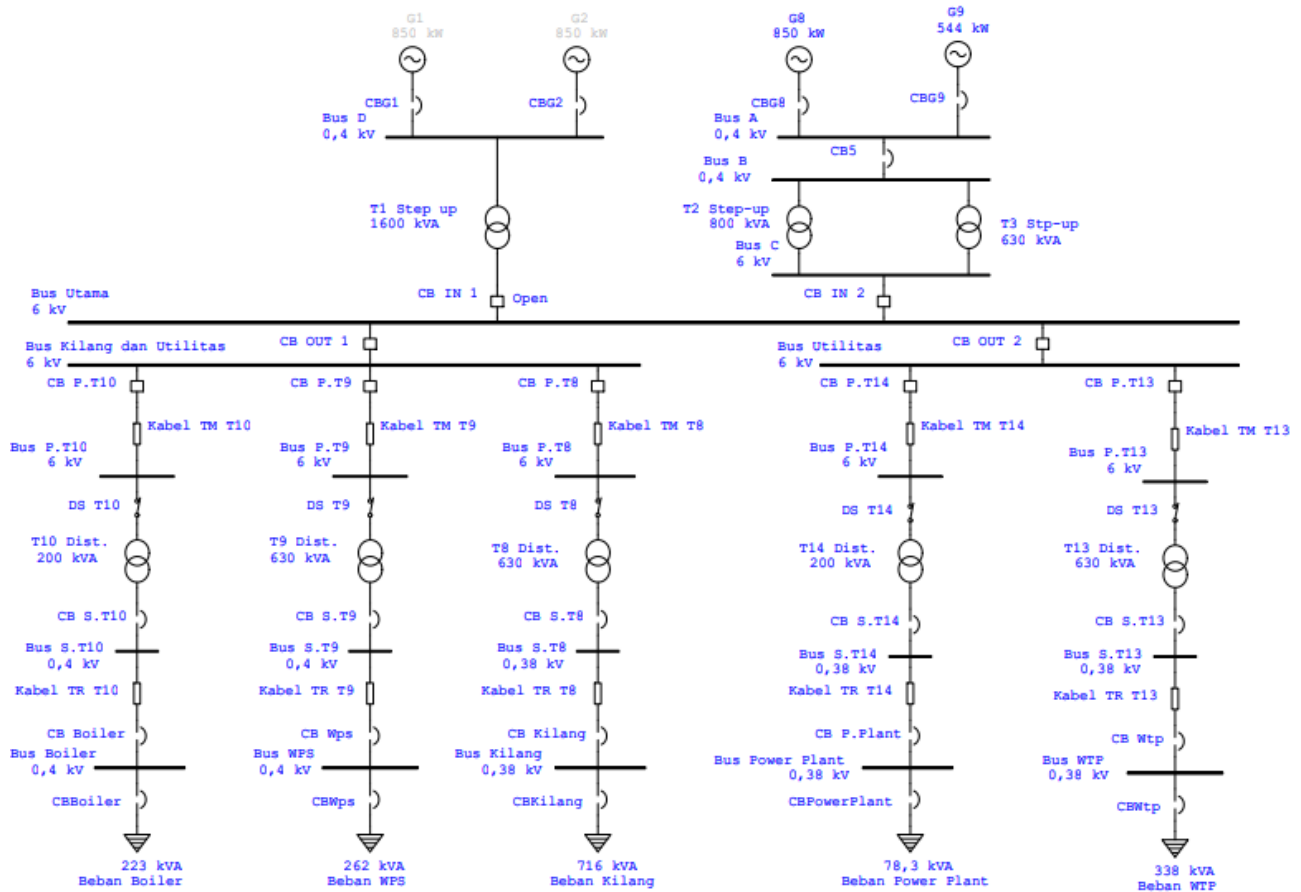


Gambar 2. Flowchart penelitian

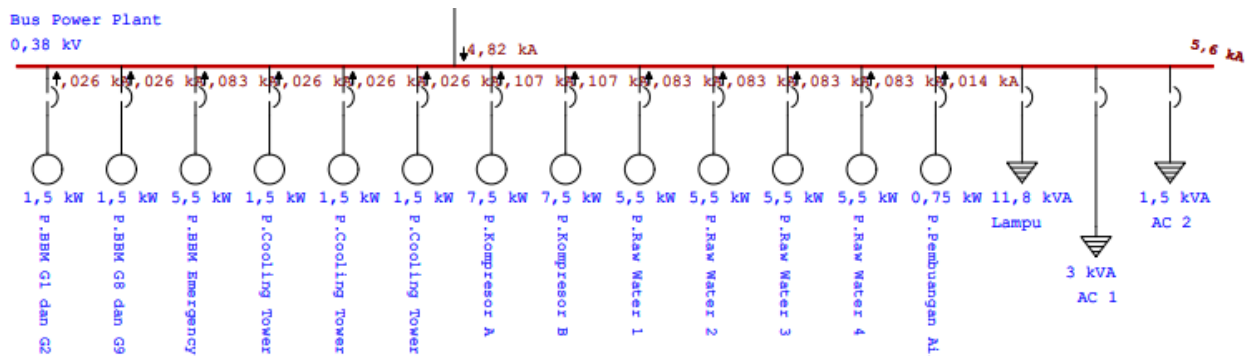
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Simulasi Hubung Singkat dengan ETAP 12.6.0

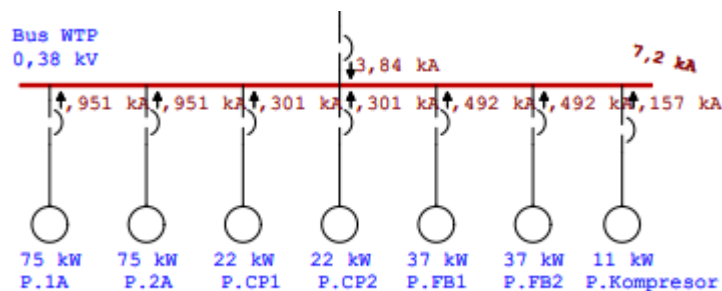
Titik lokasi gangguan hubung singkat yang dilakukan pada sistem jaringan distribusi ada 5 yaitu bus Power Plant, bus WTP, bus Boiler, bus WPS, dan bus Kilang. Titik lokasi gangguan dipilih berdasarkan bus yang menghubungkan sistem tenaga listrik dengan beban yang jaraknya paling dekat. Berikut diagram *single line* PLTD yang dibuat sesuai dengan yang ada di PPSDM MIGAS Cepu.



Gambar 3. Diagram *single line* PLTD di PPSPDM MIGAS Cepu



Gambar 4. Hubung singkat bus Power Plant



Gambar 5. Hubung singkat bus WTP

Tabel 3. Hubung singkat bus Power Plant

ID Bus	kV	Jenis Gangguan	I_a (kA)	I_b (kA)	I_c (kA)	I_1 (kA)	I_2 (kA)	I_0 (kA)
Bus Power Plant	0,38	<i>3-Phase Fault</i>	5,588	-	-	-	-	-
		<i>L-G Fault</i>	5,542	-	-	1,847	1,847	1,847
		<i>L-L Fault</i>	-	4,737	4,737	2,735	2,735	-
		<i>L-L-G Fault</i>	-	5,464	5,356	3,706	1,804	1,909

3.2.2 Hubung Singkat pada bus WTP

Hubung singkat pada bus WTP diperoleh nilai hubung singkat terbesar yaitu *3-Phase Fault* dengan nilai arus $I_a = 7,207$ kA. Berikut tabel hasil simulasi hubung singkat.

Tabel 4. Hubung singkat bus WTP

ID Bus	kV	Jenis Gangguan	I_a (kA)	I_b (kA)	I_c (kA)	I_1 (kA)	I_2 (kA)	I_0 (kA)
Bus WTP	0,38	<i>3-Phase Fault</i>	7,207	-	-	-	-	-
		<i>L-G Fault</i>	4,694	-	-	1,565	1,565	1,565
		<i>L-L Fault</i>	-	5,751	5,751	3,321	3,321	-
		<i>L-L-G Fault</i>	-	6,564	5,711	4,003	2,746	1,293

3.2.3 Hubung Singkat pada bus Boiler

Hubung singkat pada bus WTP diperoleh nilai hubung singkat terbesar yaitu *3-Phase Fault* dengan nilai arus $I_a = 5,225$ kA. Berikut tabel hasil simulasi hubung singkat bus Boiler.

Tabel 5. Hubung singkat bus Boiler

ID Bus	kV	Jenis Gangguan	I_a (kA)	I_b (kA)	I_c (kA)	I_1 (kA)	I_2 (kA)	I_0 (kA)
Bus Boiler	0,4	<i>3-Phase Fault</i>	5,225	-	-	-	-	-
		<i>L-G Fault</i>	2,931	-	-	0,977	0,977	0,977
		<i>L-L Fault</i>	-	4,098	4,098	2,366	2,366	-
		<i>L-L-G Fault</i>	-	4,705	3,864	2,751	2,053	0,758

3.2.4 Hubung Singkat pada bus WPS

Hubung singkat pada bus WPS diperoleh nilai hubung singkat terbesar yaitu *3-Phase Fault* dengan nilai arus $I_a = 8,195$ kA. Berikut tabel hasil simulasi hubung singkat.

Tabel. 6. Hubung singkat bus WPS

ID Bus	kV	Jenis Gangguan	I_a (kA)	I_b (kA)	I_c (kA)	I_1 (kA)	I_2 (kA)	I_0 (kA)
Bus WPS	0,4	<i>3-Phase Fault</i>	8,195	-	-	-	-	-
		<i>L-G Fault</i>	5,755	-	-	1,918	1,918	1,918
		<i>L-L Fault</i>	-	6,935	6,935	4,004	4,004	-
		<i>L-L-G Fault</i>	-	8,159	6,343	4,7	3,366	1,479

3.2.5 Hubung Singkat pada bus Kilang

Hubung singkat pada bus Kilang diperoleh nilai hubung singkat terbesar yaitu *3-Phase Fault* dengan nilai arus $I_a = 9,476$ kA. Berikut tabel hasil simulasi hubung singkat.

Tabel 7. Hubung singkat bus Kilang

ID Bus	kV	Jenis Gangguan	I_a (kA)	I_b (kA)	I_c (kA)	I_1 (kA)	I_2 (kA)	I_0 (kA)
Bus Kilang	0,38	<i>3-Phase Fault</i>	9,476	-	-	-	-	-
		<i>L-G Fault</i>	3,877	-	-	1,292	1,292	1,292
		<i>L-L Fault</i>	-	7,375	7,375	4,258	4,258	-
		<i>L-L-G Fault</i>	-	8,21	6,837	4,68	3,918	0,893

3.3 Perhitungan Manual Hasil Simulasi dan Perbandingan Nilai

Perhitungan manual arus gangguan hubung singkat ini menghitung salah satu bus yaitu bus WPS untuk mendapatkan perbandingan hasil perhitungan manual dengan hasil simulasi dengan ETAP 12.6.0. Berikut langkah perhitungan *3-phase fault*, *L-G fault*, *L-L fault*, dan *L-L-G fault*.

3.3.1 Menentukan Impedansi Sumber

Diketahui nilai MVAsc sisi primer Transformator 9 sebesar 15,744 MVA.

$$Z_P = j \frac{KV_p^2}{MVA_{sc}}$$

$$Z_P = j \frac{6^2}{15,744} = j 2,286 \text{ Ohm}$$

maka,

$$Z_S = j \frac{KV_s^2}{KV_p^2} \times Z_{SP}$$

$$Z_S = j \frac{0,38^2}{6^2} \times 2,286 = j 0,00175 \text{ Ohm}$$

3.3.2 Menentukan Impedansi Transformator

Diketahui Transformator 9 memiliki nilai $Z \% = 4 \%$ dengan daya 630 KVA.

$$Z_T (\text{pada } 100 \%) = j \frac{KV_s^2}{MVA}$$

$$Z_T (\text{pada } 100 \%) = j \frac{0,38^2}{0,63} = 0,229 \text{ Ohm}$$

Karena belitan Transformator $\Delta - Y$ sehingga,

$$Z_{T1} = Z_{T2} = Z_{T0} = Z \% (\text{name plate}) \times Z_T$$

$$Z_{T1} = Z_{T2} = Z_{T0} = 0,04 \times 0,229 = j 0,00916 \text{ Ohm}$$

3.3.3 Menentukan Impedansi Penyulang

a. Penyulang tegangan menengah

Diketahui panjang kabel penghantar 192,5 m dengan nilai impedansi urutan positif $0,196 + j 0,0988$ Ohm/km dan urutan nol $0,31164 + j 0,25095$ Ohm/km.

$$Z_{P1} = Z_{P2} = (R + jX) \times P$$

$$Z_{P1} = Z_{P2} = (0,196 + j 0,0988) \times 0,1925 \text{ km} = 0,03773 + j 0,019 \text{ Ohm/km}$$

dan,

$$Z_{P0} = (0,31164 + j 0,25095) \times 0,1925 \text{ km} = 0,05999 + j 0,0483 \text{ Ohm/km}$$

b. Penyulang tegangan rendah

Diketahui panjang kabel penghantar 100 m dengan nilai impedansi urutan positif $0,1819 + j 0,0884$ Ohm/km dan urutan nol $0,5729 + j 0,2174$ Ohm/km.

Sehingga,

$$Z_{P1} = Z_{P2} = (0,1819 + j 0,0884) \times 0,1 \text{ km} = 0,01819 + j 0,00884 \text{ Ohm/km}$$

dan,

$$Z_{P0} = (0,5729 + j 0,2174) \times 0,1 \text{ km} = 0,05729 + j 0,0217 \text{ Ohm/km}$$

Jadi total impedansi penyulang tegangan menengah dan rendah adalah,

$$Z_{P1} = Z_{P2} = 0,05592 + j 0,02784 \text{ Ohm/km}$$

$$Z_{P0} = 0,11728 + j 0,07 \text{ Ohm/km}$$

3.3.4 Menentukan Impedansi Ekuivalen

Impedansi ekuivalen diperoleh dari hasil penjumlahan impedansi sumber, impedansi transformator, dan impedansi penyulang pada sistem jaringan.

$$Z_1 = Z_2 = (Z_S + Z_{T1} + Z_{P1})$$

$$Z_1 = Z_2 = (j 0,00175 + j 0,00916 + 0,05592 + j 0,02784) = 0,05592 + j 0,03875$$

$$= 0,068 \angle 34,72^\circ \text{ Ohm}$$

dan,

$$Z_0 = (Z_{T0} + 3 \cdot RN + Z_{P0})$$

$$Z_0 = (j 0,00916 + (3 \cdot 0,229) + 0,11728 + j 0,07) = 0,804 + j 0,0791 = 0,808 \angle 5,62^\circ \text{ Ohm}$$

3.3.5 Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat

Diketahui bus WPS terdapat beban 3 motor induksi dengan nilai impedansi sebagai berikut.

$$X'' = 15,927 \% ; X_2 = 20 \% ; \text{ dan } X_0 = 20 \%$$

$$V_{L-N} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 219,39 \text{ V}$$

a. 3-Phase Fault

$$I_f = \frac{V_{L-N}}{Z_1}$$

$$I_f = \frac{219,39 \angle 0^\circ}{0,068 \angle 34,72^\circ} = 3226,32 \text{ A}$$

Hubung singkat beban :

$$I_f = \frac{219,39 \angle 0^\circ}{0,159 \angle 90^\circ} = 1379,81 \text{ A}$$

Jadi total arus hubung singkat adalah $3226,32 + (3 \times 1379,81) = 7365,75 \text{ A}$

b. L-G Fault

$$I_f = \frac{3 \cdot V_{L-N}}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$I_f = \frac{3 \times 219,39 \angle 0^\circ}{0,068 \angle 34,72^\circ + 0,068 \angle 34,72^\circ + 0,808 \angle 5,62^\circ}$$

$$I_f = 697,21 \text{ A}$$

Hubung singkat beban :

$$I_f = \frac{3 \times 219,39 \angle 0^\circ}{0,159 \angle 90^\circ + 0,2 \angle 90^\circ + 0,2 \angle 90^\circ} = 1177,4 \text{ A}$$

Jadi total arus hubung singkat adalah $697,21 + (3 \times 1177,4) = 4229,41 \text{ A}$

c. L-L Fault

$$I_f = \frac{\sqrt{3} \cdot V_{L-N}}{Z_1 + Z_2}$$

$$I_f = \frac{\sqrt{3} \times 219,39 \angle 0^\circ}{0,068 \angle 34,72^\circ + 0,068 \angle 34,72^\circ}$$

$$I_f = 2794,04 \text{ A}$$

Hubung singkat beban :

$$I_f = \frac{\sqrt{3} \times 219,39 \angle 0^\circ}{0,159 \angle 90^\circ + 0,2 \angle 90^\circ}$$

$$I_f = 1058,46 \text{ A}$$

Jadi total arus hubung singkat adalah $2794,04 + (3 \times 1058,46) = 5969,42 \text{ A}$

d. L-L-G Fault

$$I_f = \frac{\sqrt{3} \cdot V_{L-N}}{Z_1 + (Z_2 // Z_0)}$$

$$I_f = \frac{\sqrt{3} \times 219,39 \angle 0^\circ}{0,068 \angle 34,72^\circ + (0,068 \angle 34,72^\circ // 0,808 \angle 5,62^\circ)}$$

$$I_f = 2923 \text{ A}$$

Hubung singkat beban :

$$I_f = \frac{\sqrt{3} \times 219,39 \angle 0^\circ}{0,159 \angle 90^\circ + (0,2 \angle 90^\circ // 0,2 \angle 90^\circ)}$$

$$I_f = 1467,14 \text{ A}$$

Jadi total arus hubung singkat adalah $2923 + (3 \times 1467,14) = 7324,42 \text{ A}$

Dari hasil analisis hubung singkat pada bus WPS dengan simulasi ETAP 12.6.0 dan perhitungan manual, diperoleh nilai perbandingan sebagai berikut.

Tabel 8. Perbandingan hasil simulasi ETAP 12.6.0 dengan perhitungan manual bus WPS

Jenis Gangguan	Nilai Arus Hubung Singkat (kA)		
	Simulasi	Perhitungan	Selisih
<i>3-Phase Fault</i>	8,195	7,365	0,83
<i>L-G Fault</i>	5,755	4,229	1,52
<i>L-L Fault</i>	6,935	5,969	0,966
<i>L-L-G Fault</i>	8,159	7,324	0,835

Tabel perbandingan diatas, nilai arus gangguan hubung singkat lebih besar menggunakan simulasi ETAP 12.6.0 daripada perhitungan manual.

3.4 Penentuan Nilai *Breaking Capacity* pada CB

Penentuan nilai *breaking capacity* pada CB ini menggunakan acuan nilai arus gangguan hubung singkat dari hasil simulasi ETAP 12.6.0, karena nilainya lebih besar dari nilai perhitungan manual. Arus gangguan hubung singkat yang digunakan untuk penentuan *breaking capacity* ini mengambil dari nilai arus terbesar yaitu gangguan hubung singkat seimbang atau *3-Phase Fault*. Arus hubung singkat terbesar yang diperoleh dikalikan dengan faktor *safety* 120% sebagai faktor keamanan untuk menentukan *breaking capacity* ini.

Rumus perhitungannya :

$$I_{CB} = I_f \times 120\% \dots\dots\dots (16)$$

$$I_{CB} = 8,195 \times 1.2$$

$$I_{CB} = 9,834 \text{ kA}$$

Dimana :

I_{CB} = Kapasitas pemutusan arus hubung singkat CB (kA)

I_f = Nilai arus hubung singkat bus (kA)

120% = Faktor *safety*

Dari hasil perhitungan tersebut diperoleh nilai optimum *breaking capacity* pada CB bus WPS sebesar 9,834 kA. Nilai tersebut sudah aman jika sistem jaringan tenaga listrik mengalami arus gangguan hubung singkat. Berikut hasil penentuan nilai *breaking capacity* pada CB semua bus beban.

Tabel 9. Nilai arus gangguan hubung singkat terbesar dan *breaking capacity* pada CB

ID Bus	Hubung Singkat Terbesar (kA)	Nilai <i>Breaking Capacity</i> (kA)
Bus Power Plant	5,588	6,7
Bus WTP	7,207	8,64
Bus Boiler	5,225	6,27
Bus WPS	8,195	9,834
Bus Kilang	9,476	11,37

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian tugas akhir yang sudah dilakukan, penulis dapat memperoleh beberapa kesimpulan antara lain :

1. Nilai arus gangguan hubung singkat paling besar adalah gangguan hubung singkat seimbang atau *3-Phase Fault*.
2. Metode analisis menunjukkan nilai arus gangguan hubung singkat dengan simulasi ETAP 12.6.0 lebih besar dari perhitungan manual dan diperoleh nilai selisih jenis *3-Phase Fault* paling kecil sedangkan *L-G Fault* paling besar.
3. Penentuan *breaking capacity* pada CB dari arus gangguan hubung singkat hasil simulasi ETAP 12.6.0 dan diambil nilai arus paling besar dari jenis gangguan yang terjadi.

PERSANTUNAN

Puji syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan kelancaran dan kemudahan, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini tepat waktu. Penulis juga mengucapkan banyak terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian tugas akhir ini antara lain :

1. Kedua orang tua penulis yang telah memberikan motivasi serta doa sepenuh hati.
2. Bapak Agus Ulinuha, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak Hendri Setyo Febrianto, A.Md selaku pembimbing lapangan di PPSDM MIGAS Cepu yang telah memberikan informasi mengenai penelitian tugas akhir.
4. Semua dosen Teknik Elektro yang telah memberikan banyak ilmu pembelajaran selama penulis kuliah.

5. Semua teman-teman seperjuangan Teknik Elektro angkatan 2017 yang telah memberikan bantuan serta informasi dalam penyelesaian tugas akhir.

DAFTAR PUSTAKA

- Fireralubis, C. (2017). Penentuan Kapasitas Pemutus Tenaga Sisi 20 kV Pada Gardu Induk Sei. Raya. *Jurnal Teknik Elektro*, Universitas Tanjungpura.
- Gaffar, A., Agussalim, A., & Arisandi, D. (2017). Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Jaringan Distribusi 20 Kv Di Gardu Induk Panakkukang. *Jurnal Teknologi Elekterika*, 14(2), 156. <https://doi.org/10.31963/elekterika.v14i2.1221>
- Kim, J. S., Lim, S. H., & Kim, J. C. (2014). Study on application of superconducting fault current limiter considering risk of circuit breaker short-circuit capacity in a loop network system. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 9(6), 1789–1794. <https://doi.org/10.5370/JEET.2014.9.6.1789>
- Latt, A. Z. (2019). Short Circuit Analysis of 33/11/0.4 kV Distribution System Using ETAP. *Department of Electrical Power Engineering, Technological University (Maubin), Maubin, Myanmar*.
- Patil Electrical, B., & Namekar, S. (2018). Load Flow & Short Circuit Analysis of 132/33/11KV Substation using ETAP. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(11), 9943–9952. Retrieved from <http://www.ripublication.com>
- Posundu, F. M., Patras, L. S., Lisi, I. F., & Tuegeh, M. (2013). Penentuan Kapasitas CB Dengan Analisa Hubung Singkat Pada Jaringan 70 kV Sistem Minahasa. *E-Journal Teknik Elektro Dan Komputer*, 2(2), 1–6.
- Rathor, S. (2016). Short Circuit Analysis Case Study & Circuit Breaker Design Master in Power System, (April 2011).
- Sampeallo, A. S., & Fischer, P. J. (2019). Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Jaringan Pemakaian Sendiri PLTU Bolok PT. SMSE (IPP) Unit 3 Dan 4 Menggunakan Software ETAP 12.6.0. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains Dan Teknik, Universitas Nusa Cendana. <https://doi.org/10.35508/jme.v8i1.1442>
- Zhou, N., Ye, F., Wang, Q., Lou, X., & Zhang, Y. (2016). Short-circuit calculation in distribution networks with distributed induction generators. *Energies*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/en9040277>